

# CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MULTILAMINADOS TERMOPLÁSTICOS SIMÉTRICOS Y BALANCEADOS

C. Martín Barrera, P. I. González Chi\*

*Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C*  
*Unidad de Materiales*  
*Calle 43, No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200*  
*Mérida, Yucatán México.*  
*\*e-mail: [ivan@cicy.mx](mailto:ivan@cicy.mx)*

**Abstract.-** Materiales compuestos termoplásticos multilaminados [ $\pm 45^\circ_n$ ]<sub>s</sub> a base de Polipropileno y fibras de aramida fueron escalados en el espesor y el plano, y fueron ensayados mecánicamente a tensión. Los resultados muestran grandes deformaciones debido a las características de la matriz termoplástica y al fenómeno de “scissoring” de las fibras. Los primeros resultados indican que no existe un efecto de escalamiento en el espesor de estos materiales ya que no se observa influencia alguna sobre la resistencia, deformación máxima y módulo, por otra parte, el escalamiento en el plano mostró una notoria influencia sobre la deformación máxima debido al fenómeno de “scissoring” manteniendo la resistencia sin variación entre los materiales escalados en el plano.

## Introducción.

Un material compuesto multilaminado es un sistema complejo que bajo deformación puede comportarse de diversas formas, es bien sabido que algunos materiales de ingeniería tales como los materiales compuestos termofijos isotrópicos exhiben efectos de escalamiento en su resistencia; es decir, la resistencia de estos materiales está en función del tamaño absoluto del espécimen y de sus características geométricas.

Los materiales compuestos termofijos han sido ampliamente estudiados en su efecto de escalamiento, sin embargo, de la versión termoplástica se sabe muy poco. El presente trabajo se centra en el estudio de la influencia de escalamiento dimensional en el espesor y en el plano del espécimen sobre las propiedades mecánicas a tensión de materiales compuestos multicapa simétricos (misma orientación del refuerzo respecto al centro del laminado) y balanceados (capas idénticas a cada lado del centro del laminado) con 8, 16 y 24 capas orientadas a  $\pm 45^\circ$ , teniendo como matriz al Polipropileno y fibras continuas de aramida Twaron como refuerzo; en la elaboración de estos materiales fue usado el método de impregnación por polvos, el cual consiste en fluidizar la matriz (en polvo) y pasar la mecha de fibras a través de ella, para así ser impregnadas y generar las preformas.

## Sección experimental.

### *Materiales.*

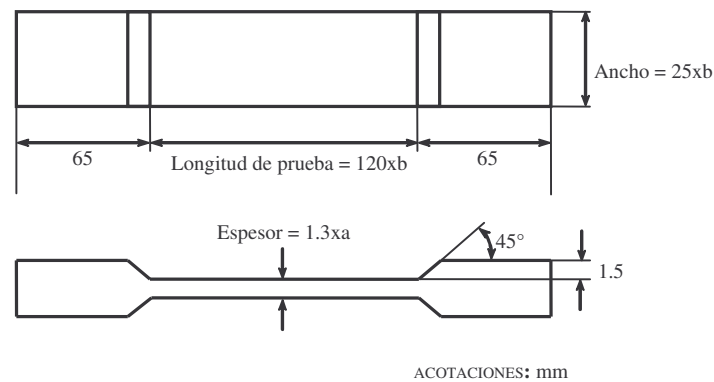
- Matriz termoplástica: Polipropileno (Indelpro) malla 60 (Tamiz Tyler).
- Refuerzo: Fibra de aramida Twaron 2200 (Akzo Nobel).

Las preformas fueron obtenidas en un sistema continuo de impregnación de partículas usando el método de impregnación por polvos, donde las fibras fueron

impregnadas con 90 % de matriz, estas preformas fueron acomodadas a lo largo y ancho de los moldes y apiladas en 8 (Celda base y 2x-8 Capas) y 16 (1x-16 Capas) capas a  $\pm 45^\circ$ , fueron moldeadas por compresión a  $230^\circ\text{C}$  y 300 psi durante 20 minutos en una prensa Carver Laboratory Press, modelo C para formar las láminas multicapa de  $[\pm 45^\circ_n]_s$  (los “tabs” fueron formados durante el moldeo con la misma matriz).

#### Prueba a tensión.

Las placas fueron cortadas y pulidas para obtener las probetas según la norma ASTM D 3039/D 3039M-00. 3 sistemas de probetas con diferente escalamiento (en el espesor y el plano) fueron preparados como se indica en la tabla 1, sus dimensiones son mostradas en la figura 1. Las probetas fueron probadas a tensión en una máquina universal Shimadzu modelo AG-1, con celdas de carga de 5 KN y 100 KN con una velocidad de deformación de  $8.33 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ , Un extensómetro Shimadzu SG25-10 fue adaptado a las probetas para recolectar los datos de deformación para calcular el módulo elástico.



**Figura 1.** Dimensiones de las probetas para la prueba a tensión.

**Tabla 1.** Escalamiento de probetas

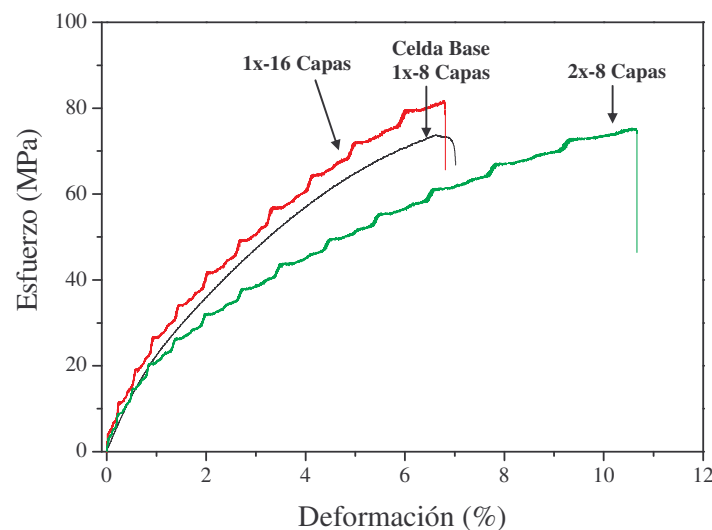
Escalamiento en el plano	Escalamiento en el espesor		
	8 Capas (a=1)	16 Capas (a=2)	24 Capas (a=3)
1x (b=1)	Celda Base ✓	1x-16 Capas ✓	1x-24 Capas ✓
2x (b=2)	2x-8 Capas ✓		
3x (b=3)	3x-8 Capas ✓		

La celda base es el punto de partida en el escalamiento, es un arreglo simétrico y balanceado de 8 capas dispuestas en el siguiente orden:  $[+45^\circ, -45^\circ, +45^\circ, -45^\circ, -45^\circ, +45^\circ, -45^\circ, +45^\circ]$ , para hacer escalamientos en el espesor se repite este mismo arreglo dos o mas

veces poniendo las capas una sobre otra y para escalamiento en el plano, se incrementa proporcionalmente el área de prueba de los especímenes manteniendo las 8 capas.

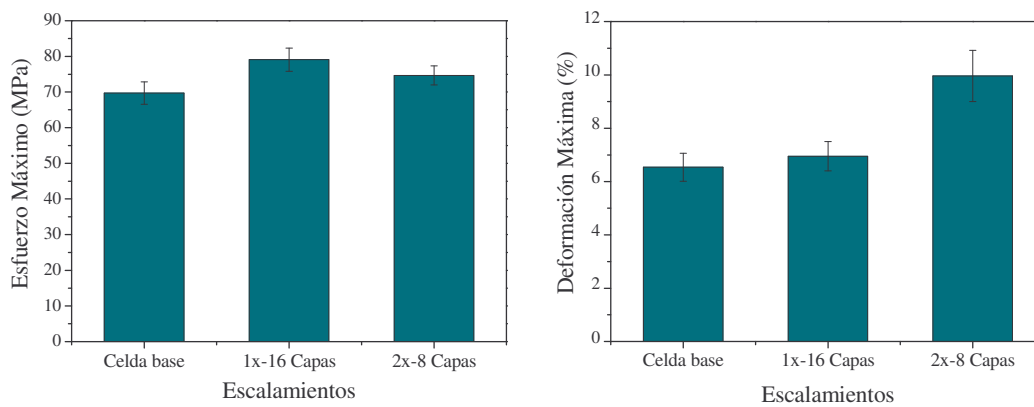
## Resultados y discusión.

La figura 2 muestra las curvas Esfuerzo-Deformación de las pruebas a tensión, los sistemas a escala 1x (Celda base y 1x-16 Capas) tuvieron un comportamiento similar; se observa una ligera inflexión a aproximadamente 0.75 % de deformación debido probablemente a cedencia de la matriz, ya que a partir de este punto muestran una disminución continua en el módulo elástico aparente con un comportamiento curvilíneo hasta la fractura en aproximadamente 6.8 % de deformación. El sistema a escala 2x-8 Capas también tiene una inflexión a 0.75 % de deformación, con una tendencia mas inclinada lo que lleva a mayor deformación que las curvas anteriores; al final, la curva muestra un comportamiento casi lineal hasta la fractura.



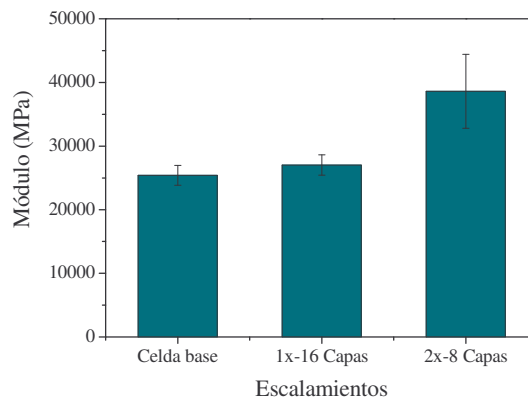
**Figura 2.** Curvas Esfuerzo-Deformación de las pruebas a tensión.

La figura 3 muestra los resultados de las propiedades mecánicas de los especímenes ensayados, donde el esfuerzo máximo no muestra una diferencia notoria entre los materiales. La deformación de los materiales a escala 1x son similares entre ellos, sin embargo el de 2x tiene 3.2 % mas de deformación respecto a los de 1x, estos niveles de deformación alcanzados son debidos a las características de la matriz termoplástica y al fenómeno de “scissoring” ya que las probetas al ser mas anchas, las fibras tienen mayor capacidad para fluir dentro de la matriz y se forma una “garganta” mas angosta (figura 5a). Es decir, el escalamiento en el espesor (celda base, 1x-16 Capas) no mostró influencia alguna sobre la resistencia y la deformación máxima, por otra parte, el escalamiento en el plano (celda base, 2x-8 Capas) mostró una notoria influencia sobre la deformación máxima manteniendo la resistencia.



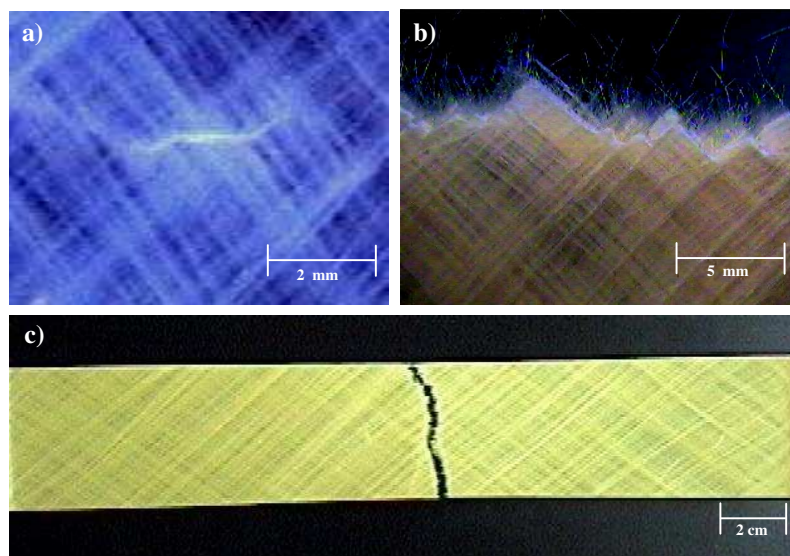
**Figura 3.** Propiedades mecánicas a tensión de los materiales ensayados, a) Esfuerzo máximo, b) Deformación máxima.

Respecto al Módulo elástico, los materiales escalados en el espesor, tienen un módulo similar, pero al aumentar la escala en el plano (celda base, 2x-8 Capas) el módulo aumenta ligeramente aunque con una desviación estándar grande (figura 4).



**Figura 4.** Módulo Elástico de los materiales ensayados a tensión.

La fractura de las probetas se propagó en dirección perpendicular respecto a la carga aplicada, debido a la orientación simétrica de las fibras de  $\pm 45^\circ$ , originándose múltiples fisuras a lo largo del plano del espécimen antes de la fractura (figura 5a), la falla se propagó en pequeñas secciones a lo largo de una dirección de las fibras y después en la otra en forma de “zig-zag” como se muestra en la figura 5b. La figura 5c muestra una probeta rota (2x-8 Capas) en donde se puede observar la reducción del ancho en la zona central de la probeta y la falla que se propagó prácticamente en dirección perpendicular a la dirección de la carga.



**Figura 5.** Imágenes de una muestra de 2x-8 Capas después de la prueba a tensión, a) Fisura inicial, b) Sección fracturada, c) Área de prueba con “garganta”.

## Conclusiones.

Los materiales compuestos termoplásticos reforzados a  $[\pm 45^\circ]_s$  presentaron una gran deformación causada por las características de la matriz termoplástica y por la distribución y balanceo de los esfuerzos en el plano conduciendo al fenómeno de “scissoring” previniendo una fractura prematura. Los materiales con escalamiento en el espesor, no presentaron una diferencia significativa en las propiedades mecánicas por lo que se puede decir que no existen efectos de escalamiento para estos materiales, pero al hacer un escalamiento en el plano, se puede observar una variación en la deformación máxima y el módulo, con estos resultados, aun no es posible asegurar que exista un efecto de escalamiento en el plano ya que se requiere hacer mas pruebas al respecto.

## Agradecimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su financiamiento con el proyecto 47335-Y

## Referencias.

1. W.A. Curtin. *Comp. Sci. and tech.* **60** (2000) 543-551.
2. B. Okutan, *Composites Part B: Eng.* **33** (2002) 567-578.
3. J.C. Marin, J. Cañas, F. Paris, J. Morton. *Composites Part A: Appl. Sci. and man.* **33** (2002) 87-100.
4. J.C. Marin, J. Cañas, F. Paris, J. Morton. *Composites Part A: Appl. Sci. and man.* **33** (2002) 101-111.